

ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนกากน้ำตาลที่มีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ที่ทำจากเปลือกมังคุดและเปลือกเงาะ

Study the Effect of Molasses Ratio to Fuel Properties made from Mangosteen and Rambutan Shell

ชลลดา ไร่ขาม* ยุทธพันธ์ คำวัน ปภากร จันทะวงศ์ฤทธิ์ และศิริทรัพย์ แก้วม่วง
คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
*Email: chonlada.ri@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุดและเปลือกเงาะ โดยใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน อัตราส่วนของผงถ่านจากเปลือกผลไม้ต่อกากน้ำตาลคือ 5:1, 6:1, 7:1, 5:2, 6:2 และ 7:2 โดยน้ำหนัก ทำการอัดแท่งเชื้อเพลิงด้วยวิธีอัดเย็น ทำการทดสอบสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM และทดสอบหาประสิทธิภาพการใช้งานของแท่งเชื้อเพลิง ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มอัตราส่วนของผงถ่าน ส่งผลดีต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่เหมาะสม โดยผงถ่านจากเปลือกมังคุดมีคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงดีกว่าเปลือกเงาะ ขณะที่เพิ่มอัตราส่วนของกากน้ำตาล ส่งผลต่อค่าความร้อน และปริมาณคาร์บอนเสถียรลดลง และเถ้าเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ค่าแรงกดอัดสูงขึ้น ซึ่งอัตราส่วนผสมที่ให้คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงดีที่สุดคือ 7:1 โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด มีค่าความร้อน คาร์บอนเสถียร เถ้า แรงกดอัด และประสิทธิภาพการใช้งานเท่ากับ 5,868 cal/g, 78.31%, 6.84%, 0.062 kN/cm² และ 16.04% ตามลำดับ ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเงาะมีค่าเท่ากับ 5,322 cal/g, 75.11%, 8.20%, 0.049 kN/cm² และ 15.20% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งกับค่ามาตรฐานอุตสาหกรรมถ่านอัดแท่ง พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากน้ำตาล 1 ส่วน มีค่าคุณสมบัติบางส่วนที่สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดทั้งหมด ขณะที่เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากน้ำตาล 2 ส่วน มีเพียงเปลือกมังคุดเท่านั้นที่สูงกว่าค่ามาตรฐาน

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงอัดแท่ง ชีวมวล เปลือกผลไม้ กากน้ำตาล

Abstract

The objective of this research was to study the production of briquette fuel made from the shell of fruit such as mangosteen and rambutan using molasses binder. Ratio of charcoal to molasses are 5:1, 6:1, 7:1, 5:2, 6:2 and 7:2 by weight. Briquette fuels were compressed by cold compression method. The fuel properties of briquette were evaluated according to ASTM standards and analyzed performance of briquette. The result showed that the ratio of charcoal increased resulting in appropriate of fuel properties which the charcoal of mangosteen had better

fuel properties than the charcoal of rambutan. While, the effect on molasses was increased resulting in high heating value, decrease in fixed carbon content and increase in ash content but it done the high compression value. The ratio resulted in appropriate of fuel properties was 7:1. This condition gave heating value, fixed carbon content, ash content, compression value and performance of briquette were 5,868 cal/g, 78.31%, 6.84%, 0.062 kN/cm^2 and 16.04%, respectively, while the result of rambutan fuel were 5,322 cal/g, 75.11%, 8.20%, 0.0492 kN/cm^2 and 15.20%, respectively. When comparison during the fuel properties with the industry standards charcoal, using binder in ratio as 1 found that some properties value was higher than the standard value. When using binder ratio as 2, only mangosteen fuel are higher than standard.

Keywords: Briquette fuel, Biomass, Shell of fruit, Molasses

บทนำ

ชีวมวล คือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานได้ ประเทศไทยนับเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งผลพลอยได้ที่นอกเหนือจากผลผลิตทางการเกษตรก็คือเศษวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย ชังข้าวโพด เป็นต้น ส่วนใหญ่แล้วจะกำจัดด้วยวิธีการเผา ซึ่งเป็นวิธีการจัดการที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและทำลายความอุดมสมบูรณ์ของดิน นอกจากเศษวัสดุชีวมวลจากการเกษตรแล้ว เศษวัสดุชีวมวลที่มาจากผลไม้ (เปลือกกล้วย เปลือกทุเรียน เปลือกมังคุด และเปลือกเงาะ เป็นต้น) ซึ่งมีปริมาณมากตลอดฤดูกาล และเปลือกผลไม้ส่วนใหญ่มักจะนำไปทิ้งรวมกับขยะแห้ง ทำให้การกำจัดขยะมีความยุ่งยากมากขึ้น ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าว จึงสนใจนำมาพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกผลไม้ เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงจากไม้โดยตรง และนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งเป็นการเพิ่มแหล่งพลังงานทดแทนสำหรับใช้ในครัวเรือน

การนำวัสดุชีวมวลต่างๆ มาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากผลการศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากฟางข้าวและใบอ้อย สามารถให้ค่าความร้อนเท่ากับ $4,259 \text{ cal/g}$ (Pongsak, 2015) และกากกาแฟอัดแท่งสามารถให้ค่าความร้อนประมาณ $4,700\text{--}5,700 \text{ cal/g}$ (Nopporn, 2003) ขณะเดียวกันวัสดุเหลือทิ้งจากครัวเรือนก็สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้เช่นเดียวกัน จากผลการศึกษาถ่านที่ทำจากเปลือกสัปะรด เปลือกมังคุด และเปลือกทุเรียน พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเปลือกมังคุดมีค่าความร้อนเท่ากับ $4,348 \text{ cal/g}$ ซึ่งสูงกว่าเปลือกทุเรียน และเปลือกสัปะรด นอกจากนี้ยังมีการแตกปะทุขณะติดไฟน้อย และเวลาในการจุดติดไฟนาน (ธนาพล และคณะ, 2558) นอกจากนี้แล้วปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตถ่านอัดแท่ง ได้แก่ ปริมาณความชื้น ขนาดชิ้นส่วนของวัตถุดิบ และตัวประสาน เป็นต้น หากแท่งเชื้อเพลิงมีปริมาณความชื้นสูง ทำให้แท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนต่ำ ส่วนขนาดของชิ้นส่วนวัตถุดิบ ต้องมีขนาดเล็กเพื่อให้มีแรงยึดติดกันแน่น ส่วนตัวประสาน ทำหน้าที่ในการยึดเกาะวัสดุให้ติดและคงรูปไว้ได้ ซึ่งตัวประสานมีการใช้ด้วยกันหลายชนิด เช่น แป้งมัน กากน้ำตาล เศษดินขาว เป็นต้น ผลการศึกษาพบว่า การใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ให้ค่าความร้อนสูง และประสิทธิภาพการใช้งานของแท่งเชื้อเพลิง

ดีกว่าการใช้เศษดินขาว (บุญจรัตน์ และคณะ, 2554) นอกจากนี้แล้วผลการศึกษาตัวประสานระหว่างแป้งมันสำปะหลัง และกากน้ำตาล พบว่า การใช้แป้งมันสำปะหลังให้ค่าความร้อนสูงกว่าการใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน แต่ประสิทธิภาพการใช้งานของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานมีประสิทธิภาพการใช้งานที่ดีกว่า และมีระยะเวลาการจุดติดไฟนาน (ศิริวรรณ, 2549) และผลการศึกษาของ (Pongsak, 2015) พบว่า ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจะมีค่าสูงขึ้น แปรผันตรงกับปริมาณผงถ่าน แต่จะแปรผกผันกับปริมาณตัวประสาน หากใช้ปริมาณตัวประสานมาก ส่งผลให้ค่าความร้อนที่ได้มีค่าลดลง ดังนั้นการกำหนดสัดส่วนตัวประสานจึงจำเป็นต้องประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ด้วยสาเหตุดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงสนใจศึกษาอัตราส่วนตัวประสานโดยใช้กากน้ำตาลต่อผงถ่านจากเปลือกมังคุดและเปลือกเงาะที่มีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อวิเคราะห์และนำมาเป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกผลไม้ชนิดอื่นๆ ได้ อีกทั้งยังเป็นแนวทางปฏิบัติในการลดปัญหาขยะด้วยวิธีการนำมาแปรรูปให้เกิดประโยชน์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนของตัวประสานโดยใช้กากน้ำตาลและอัตราส่วนของเปลือกผลไม้จากเปลือกมังคุด และเปลือกเงาะที่มีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง
2. เพื่อศึกษาสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้แก่ ค่าความร้อน ปริมาณเถ้า ความชื้น ปริมาณคาร์บอนเสถียร แรงกดอัด และประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนการศึกษออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ขั้นตอนการอัดแท่งเชื้อเพลิง ขั้นตอนการวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิง โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

1.1 นำเปลือกผลไม้สดได้แก่ เปลือกเงาะ และเปลือกมังคุด ไปตากแห้งประมาณ 5-7 วัน เพื่อลดความชื้น จากนั้นแยกเปลือกผลไม้แต่ละชนิดไปเผาในถังเหล็ก 50 ลิตร ซึ่งใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นร่อนให้เปลือกผลไม้เย็นตัวลง โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 5-6 ชั่วโมง จะได้ถ่านจากเปลือกผลไม้ชนิดต่างๆ มีลักษณะเป็นสีดำล้วน

1.2 นำถ่านเปลือกมังคุดและถ่านเปลือกเงาะที่ผ่านการเผาเสร็จแล้วไปย่อยให้มีขนาดเล็กลงโดยใช้เครื่องย่อย จากนั้นนำผงถ่านที่ผ่านการย่อยมาร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 30 ขนาด 600 μm

2. ขั้นตอนการอัดแท่งเชื้อเพลิง

2.1 นำวัตถุดิบที่ใช้ในการผสมซึ่งประกอบด้วยผงถ่าน กากน้ำตาล และน้ำ ในอัตราส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 1 (โดย 1 น้ำหนักโดยมวล คือ 10 กรัม) ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน ซึ่งปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมพิจารณาจากการเติมในปริมาณที่เหมาะสมจนกระทั่งสามารถปั้นเป็นก้อนถ่านได้ จากนั้นนำ

ตัวอย่างที่ผสมเสร็จแล้วไปเข้าเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงด้วยวิธีอัดเย็น โดยตัดแท่งเชื้อเพลิงให้มีขนาดประมาณ 5 cm

2.2 นำถ่านอัดแท่งที่ได้จากเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงเข้าตู้อบเพื่อไล่ความชื้น โดยใช้อุณหภูมิในการอบ 120 °C เป็นเวลา 15 ชั่วโมง (สหรัตน์, 2549; มนตรี, 2555)

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านจากเปลือกมังคุดและเปลือกเงาะ กากน้ำตาล และปริมาณน้ำ

ชนิดอัตราส่วน (โดยน้ำหนัก)	ชนิดผงถ่านจากเปลือกผลไม้											
	เปลือกมังคุด						เปลือกเงาะ					
กากน้ำตาล	1			2			1			2		
ผงถ่าน	5	6	7	5	6	7	5	6	7	5	6	7
น้ำ	2.5	2.75	2.85	1.3	1.5	1.7	2.5	2.75	2.85	1.5	2	2.5

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิง

นำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกมังคุดและเปลือกเงาะ ไปวิเคราะห์หาสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงต่างๆ ดังนี้

3.1 ปริมาณความชื้น (moisture content) ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ภายในวัสดุ โดยนำตัวอย่างมาวิเคราะห์และให้ความร้อนคงที่ในตู้อบ (drying oven) ที่อุณหภูมิ 135 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง ค่าความชื้นที่ได้สามารถคำนวณจากน้ำหนักของตัวอย่างที่ลดลง การหาปริมาณความชื้นสามารถหาได้จากสมการที่ (1)

$$\text{ปริมาณความชื้น (\% dry basis)} = \frac{(M_1 - M_2) \times 100}{M_2} \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้

M_1 = มวลของเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนอบ (กรัม)

M_2 = มวลของเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังอบ (กรัม)

3.2 ปริมาณเถ้า (ash content) เป็นการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ที่เหลือจากการเผาไหม้ ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3174 โดยนำตัวอย่างไปเผาให้ความร้อนในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 500 °C แล้วค่อยๆ เพิ่มความร้อนเป็น 700–750 °C ใช้ระยะเวลา 6 ชั่วโมง

3.3 ปริมาณสารระเหย (volatile matter) คือองค์ประกอบในของเสียที่สามารถระเหยได้เมื่อได้รับความร้อน ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3175

3.4 คาร์บอนคงตัว (fixed carbon) เป็นการวิเคราะห์หามวลคาร์บอนที่หลงเหลืออยู่ในเชื้อเพลิงอัดแท่ง หลังจากเผาแยกสารระเหยออกไปแล้ว ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D31726

3.5 ค่าความร้อน (heating value) ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น เมื่อสารตัวอย่างถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter รุ่น C5000 ตามมาตรฐาน ASTM D3286

3.6 ค่าแรงกดอัด (compression force) เป็นกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบสภาพการเปลี่ยนรูปของวัสดุ ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM EL78-0060 โดยใช้เครื่อง Measuring ring สามารถทนแรงกดอัดได้สูงสุด 2 กิโลนิวตัน

3.7 ประสิทธิภาพการใช้งานเชิงความร้อน (heat utilization efficiency) ทดสอบการให้ความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่เผาไหม้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

- (1) เตรียมเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวล แต่ละอัตราส่วน อัตราส่วนละ 150 กรัม
- (2) เตรียมน้ำ 600 กรัม ใส่ลงในหม้อ อลูมิเนียม และวัดอุณหภูมิของน้ำก่อนต้ม
- (3) ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ให้มีตำแหน่งอยู่ระดับกึ่งกลางระดับน้ำ เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำขณะต้ม
- (4) ติดไฟเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งรอจนกระทั่งไฟติด นำหม้อน้ำที่เตรียมไว้ขึ้นตั้งบนเตาต้มจนกระทั่งน้ำเดือด บันทึกอุณหภูมิทุก 10 นาที จนกระทั่งไฟมอดดับ
- (5) ชั่งน้ำหนักน้ำที่เหลือในหม้อ

(6) คำนวณหาประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งพิจารณาจากงานที่ได้ และอัตราการเผาไหม้ สามารถหาได้จากสมการที่ (2) และ (3) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของแท่งเชื้อเพลิง นอกจากนั้นประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่ง สามารถหาได้จากสมการที่ (4)

$$\text{งานที่ได้} = \frac{\text{มวลน้ำที่ระเหยไป (กรัม)}}{\text{มวลของเชื้อเพลิงบริสุทธิ์ (กรัม)}} \quad (2)$$

$$\text{อัตราการเผาไหม้} = \frac{\text{มวลของเชื้อเพลิงบริสุทธิ์ (กรัม)}}{\text{ระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด (กรัม)}} \quad (3)$$

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้งาน (H}_u\text{)} = \frac{[MC_p(T_1 - T_2)] + [(M - M_1)L] \times 100}{M_1H_1 + M_2H_2} \quad (4)$$

เมื่อกำหนดให้

- H_u = ประสิทธิภาพการใช้งาน (ร้อยละ)
M = มวลของน้ำเริ่มต้น (กรัม)
M₁ = มวลของน้ำที่เหลืออยู่ (กรัม)
M_f = มวลของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (กรัม)
M_k = มวลของเชื้อไฟ (กรัม)
C_p = ความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 1 (แคลอรีต่อกรัม)
T₁ = อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (องศาเซลเซียส)
T₂ = อุณหภูมิของน้ำเดือด (องศาเซลเซียส)
L = ความร้อนแฝงของน้ำ เท่ากับ 540 (แคลอรีต่อกรัม)
H₁ = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกผลไม้) (แคลอรีต่อกรัม)
H₂ = ค่าความร้อนของเชื้อไฟ (แคลอรีต่อกรัม)

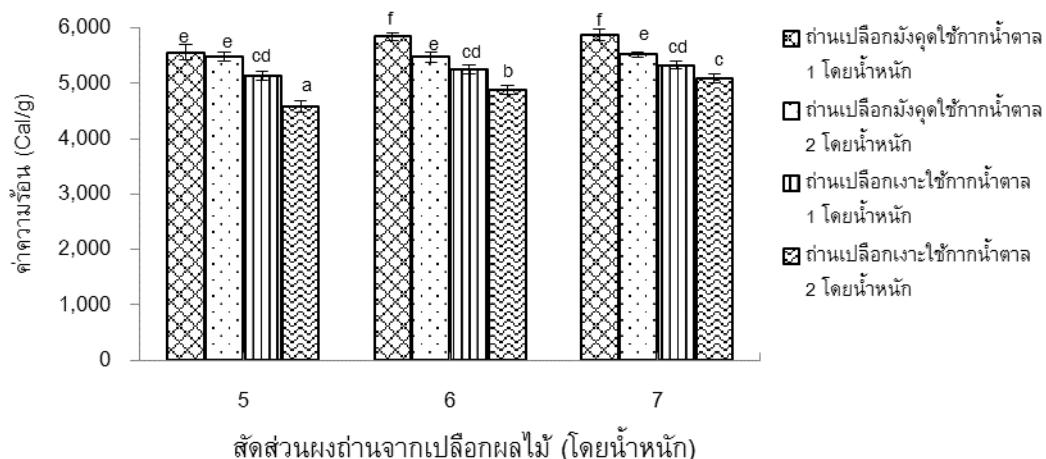
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเปลือกผลไม้

ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน ภายใต้อัตราส่วนของผงถ่านจากเปลือกผลไม้ต่อกากน้ำตาล 5:1, 6:1, 7:1, 5:2, 6:2 และ 7:2 ดังแสดงในภาพที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบชนิดของเปลือกผลไม้ระหว่างเปลือกมังคุดและเปลือกเงาะที่ใช้กากน้ำตาลในอัตราส่วนเท่ากันคือ 5:1 พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเปลือกมังคุด มีค่าความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเปลือกเงาะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5,555 และ 5,162 cal/g ตามลำดับ ซึ่งค่าความร้อนที่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจจะเป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างทางกายภาพของเปลือกผลไม้ โดยเปลือกมังคุดจะมีความแข็ง เนื่องจากมีส่วนประกอบของเนื้อไม้และเส้นใยที่บริเวณเปลือกค่อนข้างมาก (สุนันท์ และคณะ, 2532) ขณะที่เปลือกเงาะมีลักษณะทางกายภาพของเปลือกที่หนาแต่มีความเปราะ (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2554) เมื่อผ่านการตากแห้ง จึงเกิดการหดตัวได้ง่าย ซึ่งความแตกต่างของเปลือกผลไม้ดังกล่าว ส่งผลให้ค่าความร้อนต่ำกว่าเปลือกมังคุด สอดคล้องกับผลการศึกษาของ (สังเวย, 2555) พบว่า ความแข็งของเปลือกมีผลโดยตรงต่อค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของผงถ่านเป็น 6:1 และ 7:1 พบว่า ค่าความร้อนมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยอยู่ในช่วงประมาณ 29-200 cal/g สอดคล้องกับผลการศึกษาของ (ลักษมี และคณะ, 2545) พบว่าค่าความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้น และแปรผันตรงกับปริมาณผงถ่าน แต่จะแปรผกผันกับปริมาณความเข้มข้นของตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง) ดังนั้นเมื่อใช้ตัวประสานมาก แต่ใช้ผงถ่านเท่าเดิม ส่งผลต่อค่าความร้อนที่ต่ำลง

อิทธิพลของการเพิ่มอัตราส่วนตัวประสาน (กากน้ำตาล) เป็น 2 เท่า พบว่าค่าความร้อนมีแนวโน้มลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากลักษณะทางกายภาพของกากน้ำตาลมีความหนืดและความชื้นค่อนข้างสูงประมาณ 71.48 % d.b. (ณัฐธิดา, 2553) อีกทั้งกากน้ำตาลสามารถดูดความชื้นได้ง่าย (ชมธิดา, 2553) ซึ่งจากการทดสอบหาค่าความชื้นเปรียบเทียบระหว่างการใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานในอัตราส่วน 1 เท่า พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความชื้นประมาณ 5.82 – 7.33% d.b และในอัตราส่วน 2 เท่า เชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความชื้นประมาณ 7.14 - 8.30% d.b ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความชื้นมีค่าสูงขึ้น เมื่อเพิ่มกากน้ำตาล ดังนั้นจึงทำให้ค่าความร้อนที่ได้มีค่าลดลง นอกจากนี้แล้วค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของตัวประสานมากขึ้น (ศิริวรรณ, 2549)

เมื่อนำผลการศึกษาดังกล่าวเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอุตสาหกรรมถ่านอัดแท่ง (มอก.) กำหนดให้ค่าความร้อนต้องไม่น้อยกว่า 5000 cal/g พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากเปลือกมังคุดทุกอัตราส่วนให้ค่าความร้อนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมถ่านอัดแท่ง ขณะที่เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากเปลือกเงาะมีเพียงอัตราส่วนที่ 5:2 และ 6:2 เท่านั้นที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน



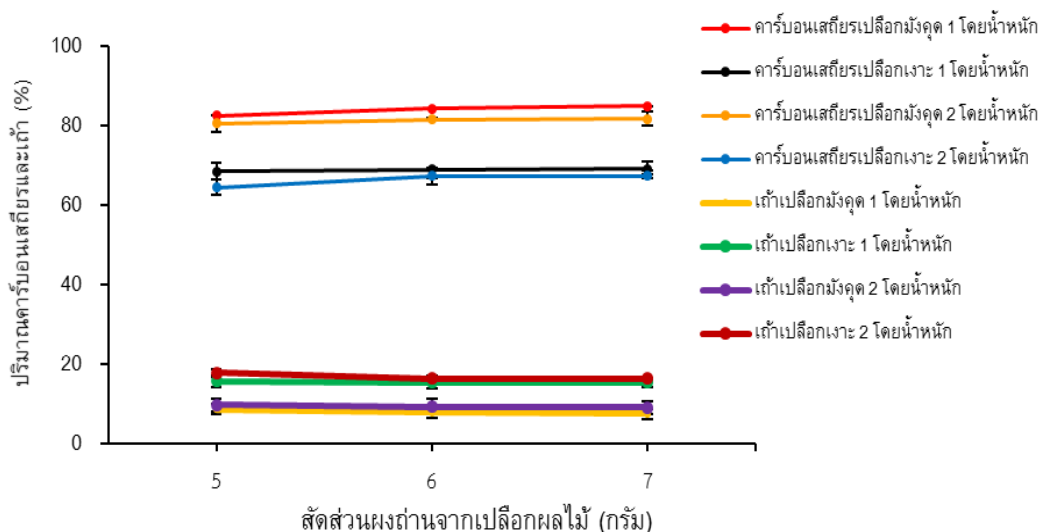
(หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสตรัม แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$)

ภาพที่ 3 อิทธิพลของอัตราส่วนกากน้ำตาลและอัตราส่วนของเปลือกผลไม้ที่มีผลต่อค่าความร้อน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนเสถียร และเถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเปลือกผลไม้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนเสถียรและเถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยใช้ผงถ่านจากเปลือกผลไม้ต่อกากน้ำตาลคือ 5:1, 6:1, 7:1, 5:2, 6:2 และ 7:2 แสดงดังภาพที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบชนิดของเปลือกผลไม้ระหว่างเปลือกมังคุดและเปลือกเงาะที่ใช้กากน้ำตาลในอัตราส่วนเท่ากันที่ 5:1 พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเปลือกมังคุดมีปริมาณคาร์บอนเสถียรสูงและปริมาณเถ้าต่ำกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเปลือกเงาะ โดยเปลือกมังคุดมีค่าปริมาณคาร์บอนเสถียรร้อยละ 76.56 และปริมาณเถ้าร้อยละ 7.62 ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเงาะ มีค่าปริมาณคาร์บอนเสถียรร้อยละ 73.95 และปริมาณเถ้าร้อยละ 8.57 ซึ่งปริมาณคาร์บอนเสถียรสูง แสดงถึงการเผาไหม้ได้ดี และเถ้าต่ำยังบ่งชี้ได้ว่าการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของผงถ่านเป็น 6:1 และ 7:1 พบว่า แนวโน้มของปริมาณคาร์บอนเสถียรเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอยู่ในช่วงร้อยละ 73-78 และปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 6-9.5 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p \leq 0.05$) ส่งผลต่อค่าความร้อนที่ได้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาการเพิ่มอัตราส่วนของตัวประสาน (กากน้ำตาล) เป็น 5:2, 6:2 และ 7:2 พบว่า แนวโน้มของปริมาณคาร์บอนเสถียรลดลง เป็นผลเนื่องมาจากกากน้ำตาลมีปริมาณน้ำเป็นส่วนประกอบ ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ได้ไม่ดี จึงหลงเหลือปริมาณเถ้าสูง สอดคล้องกับผลการศึกษการเพิ่มอัตราส่วนของกากน้ำตาลเป็นตัวประสานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากซังข้าวโพด พบว่า กากน้ำตาลมีปริมาณความชื้นค่อนข้างสูง ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้ไม่ดี (ชมธิดา, 2553) เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอัดแท่ง (มอก.) กำหนดให้มีค่าไม่เกินร้อยละ 10 พบว่าในทุกอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีปริมาณเถ้าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด



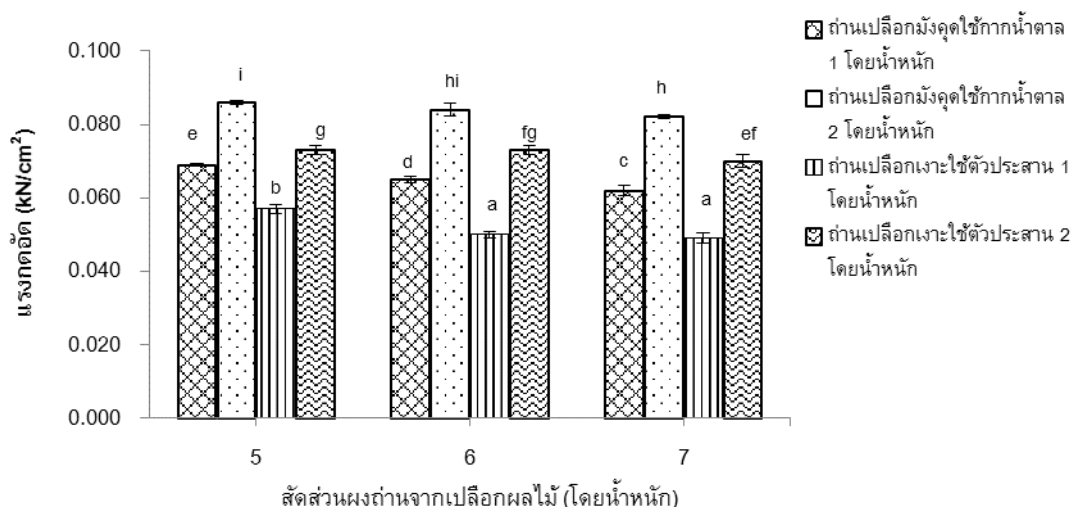
ภาพที่ 4 อิทธิพลของอัตราส่วนกากน้ำตาลและอัตราส่วนของเปลือกผลไม้ที่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน

ผลการวิเคราะห์ค่าแรงกดอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเปลือกผลไม้

ผลการวิเคราะห์ค่าแรงกดอัด ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ภายใต้อัตราส่วนของผงถ่านจากเปลือกผลไม้ต่อกากน้ำตาลที่ 5:1, 6:1, 7:1, 5:2, 6:2 และ 7:2 แสดงดังภาพที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบชนิดของเปลือกผลไม้ระหว่างเปลือกมังคุดและเปลือกเงาะที่ใช้กากน้ำตาลในอัตราส่วนเท่ากันคือ 5:1 พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุดมีค่าแรงกดอัดเท่ากับ 0.069 kN/cm^2 ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเงาะมีค่าแรงกดอัดเท่ากับ 0.057 kN/cm^2 จะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเปลือกมังคุดมีค่าแรงกดอัดสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเปลือกเงาะอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากลักษณะทางกายภาพของเปลือกที่แตกต่างกัน ซึ่งผลจากการชั่งน้ำหนักของผงถ่านหลังผ่านการเผาและนำมาร่อนผ่านตะแกรง พบว่า ผงถ่านที่ได้จากเปลือกมังคุด มีน้ำหนักมากกว่าเปลือกเงาะ ดังนั้นเมื่อนำไปอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงจึงใช้ผงถ่านจากเปลือกเงาะในปริมาณที่มากกว่าเปลือกมังคุด เมื่อผสมโดยใช้อัตราส่วนของตัวประสานเท่ากัน ทำให้ผงถ่านจากเปลือกมังคุด มีความเหนียว และยึดเกาะได้ดีกว่า ทำให้ค่าแรงกดอัดที่ได้สูง เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของผงถ่านเป็น 6:1 และ 7:1 พบว่า ค่าแรงกดอัดมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณผงถ่านมากขึ้น ทำให้กากน้ำตาลที่ใช้เป็นตัวประสานเจือจางลง ส่งผลให้การยึดเกาะของแท่งเชื้อเพลิงลดลง

ส่วนปัจจัยของการเพิ่มอัตราส่วนตัวประสาน (กากน้ำตาล) เป็น 2 เท่า คือ 5:2, 6:2 และ 7:2 พบว่าค่าแรงกดอัดมีแนวโน้มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกากน้ำตาลมีลักษณะเป็นของเหลว เมื่อนำไปผสมกับผงถ่านในปริมาณมากขึ้น ทำให้ผงถ่านยึดเกาะตัวกันได้ดีขึ้น และแท่งเชื้อเพลิงที่ได้ไม่แตกร่วน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ (ชมธิดา, 2553) พบว่า แรงกดอัดแปรผันตรงกับกากน้ำตาล เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของกากน้ำตาล ทำให้อนุภาคของเศษขี้ขาวโพดเกาะตัวกันได้ดี ส่งผลให้แท่งเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นสูง และมีความแข็งแรง จึงทำให้มีค่าแรงกดอัดสูง เมื่อนำผลการศึกษาดังกล่าวเปรียบเทียบกับแรงกดอัด

ที่ยอมรับในอุตสาหกรรมไม่ต่ำกว่า 0.038 kN/cm^2 (Richards, 1990) จะเห็นได้ว่าค่าแรงกดอัดที่ได้ในทุกอัตราส่วนสูงกว่าเกณฑ์ที่อุตสาหกรรมยอมรับ



(หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$)

ภาพที่ 5 อิทธิพลของอัตราส่วนกากน้ำตาลและอัตราส่วนของเปลือกผลไม้ ที่มีผลต่อค่าแรงกดอัด

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเปลือกผลไม้

ผลการวิเคราะห์อัตราการเผาไหม้ งานที่ได้ และประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ภายใต้อัตราส่วนของผงถ่านจากเปลือกผลไม้ต่อกากน้ำตาลที่ 5:1, 6:1, 7:1, 5:2, 6:2 และ 7:2 แสดงดังตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบชนิดของเปลือกผลไม้ระหว่างเปลือกมังคุดและเปลือกเงาะที่ใช้กากน้ำตาลในอัตราส่วนเท่ากันคือ 5:1 พบว่า เปลือกเงาะมีอัตราการเผาไหม้สูงและงานที่ได้ต่ำกว่าเปลือกมังคุด ทั้งนี้เนื่องมาจากเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเงาะมีค่าแรงกดอัดต่ำกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด แสดงให้เห็นว่าแท่งเชื้อเพลิงจากเปลือกเงาะมีความหนาแน่นต่ำกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุดด้วย จึงทำให้มีระยะเวลาการมอดดับของเชื้อเพลิงอัดแท่งหมดเร็วกว่าเปลือกมังคุด โดยเปลือกมังคุดมีอัตราการเผาไหม้เท่ากับ 2.36 กรัมต่อนาที ค่างานที่ได้ 1.36 และค่าประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุดเท่ากับ 15.49% ส่วนเปลือกเงาะมีค่าอัตราการเผาไหม้ 2.41 กรัมต่อนาที ค่างานที่ได้ 1.04 และค่าประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเงาะเท่ากับ 12.47% เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของผงถ่านเป็น 6:1 และ 7:1 พบว่าอัตราการเผาไหม้มีแนวโน้มลดลง งานที่ได้และค่าประสิทธิภาพการใช้งานของแท่งเชื้อเพลิงมีแนวโน้มสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาปัจจัยของอัตราส่วนของตัวประสาน (กากน้ำตาล) ที่เพิ่มขึ้นเป็น 5:2, 6:2 และ 7:2 พบว่าอัตราการเผาไหม้มีแนวโน้มสูงขึ้น งานที่ได้และค่าประสิทธิภาพการใช้งานของแท่งเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณกากน้ำตาล ส่งผลต่อความร้อนที่ได้น้อยลง

นอกจากนี้แล้วปริมาณน้ำที่ระเหยไปได้น้อยในระหว่างการทดสอบหาประสิทธิภาพ จึงทำให้มีน้ำหลงเหลืออยู่มาก ทำให้ค่างานที่ได้ต่ำและค่าประสิทธิภาพการใช้งานของแท่งเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 2 แสดงอัตราส่วนของกากน้ำตาลต่อผงถ่านจากเปลือกผลไม้ ที่มีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ชนิดเปลือกผลไม้	อัตราส่วนผงถ่านเปลือกผลไม้ต่อกากน้ำตาล (โดยน้ำหนัก)	คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง			
		อัตราการเผาไหม้ (กรัมต่อ นาที)	งานที่ได้	ค่าประสิทธิภาพการใช้งาน (ร้อยละ)	ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)
เปลือกมังคุด	5:1	2.36	1.36	15.49	5,555
	6:1	2.31	1.39	15.73	5,834
	7:1	2.23	1.41	16.04	5,868
เปลือกเงาะ	5:1	2.41	1.04	12.47	5,162
	6:1	2.26	1.19	14.86	5,244
	7:1	2.23	1.22	15.20	5,322
เปลือกมังคุด	5:2	2.38	1.31	15.04	5,476
	6:2	2.35	1.33	15.26	5,473
	7:2	2.30	1.36	15.55	5,517
เปลือกเงาะ	5:2	2.52	1.04	10.08	4,586
	6:2	2.47	1.19	11.01	4,884
	7:2	2.46	1.22	12.34	5,087

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาอัตราส่วนของตัวประสานโดยใช้กากน้ำตาลและอัตราส่วนของผงถ่านจากเปลือกมังคุดและเปลือกเงาะ ที่มีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่า การเพิ่มอัตราส่วนของผงถ่านจากเปลือกผลไม้ ส่งผลดีต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่เหมาะสม โดยผงถ่านจากเปลือกมังคุดมีคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงที่ดีกว่าเปลือกเงาะ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างทางกายภาพของเปลือกผลไม้ โดยเปลือกมังคุดจะมีความแข็ง เนื่องจากมีส่วนประกอบของเนื้อไม้และเส้นใยที่บริเวณเปลือกค่อนข้างมาก ขณะที่เปลือกเงาะจะมีความเปราะ และเมื่อนำไปผ่านการตากแห้ง จึงเกิดการหดตัวได้ง่าย ส่วนการเพิ่มอัตราส่วนตัวประสาน ส่งผลให้ค่าความร้อนและปริมาณคาร์บอนเสถียรลดลง และปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากลักษณะทางกายภาพของกากน้ำตาล ซึ่งมีความหนืดและความชื้นค่อนข้างสูง ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ได้ไม่ดี จึงหลงเหลือปริมาณเถ้าสูง แต่มีผลต่อค่าแรงกดอัดสูงขึ้น ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 7:1 เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอุตสาหกรรมถ่านอัดแท่ง พบว่าคุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้

กากน้ำตาล 1 ส่วน สูงกว่าค่ามาตรฐานอุตสาหกรรมถ่านอัดแท่งที่กำหนดทั้งหมด ส่วนคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้กากน้ำตาล 2 ส่วน มีเพียงเปลือกมังคุดเท่านั้นที่สูงกว่าค่ามาตรฐาน อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติบางส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเปลือกมังคุดและเปลือกเงาะ อาจจะยังไม่ได้มีคุณภาพถึงขั้นเป็นเชื้อเพลิงที่ดีได้ แต่เมื่อพิจารณาถึงลักษณะการนำไปใช้งาน โดยมีการแตกปะทุขณะติดไฟน้อย มีควันขณะลุกไหม้น้อย ระยะเวลาในการจุดติดไฟนาน และไม่มีกลิ่น ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือนได้ดี และยังเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด สามารถแก้ปัญหาในการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งในการบริโภค และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงจากฟืนได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 และขอขอบคุณ สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อและอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และสถานที่ทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ชมธิดา ชื่นนิยม. (2553). การศึกษาการเพิ่มมูลค่าของเศษขังข้าวโพดโดยการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง.

ปริญญาณิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ณัฐธิดา เชื้อยงิจ. (2553). ผลของการใช้กากน้ำตาลและวินสต์ต่อคุณสมบัติทางเคมีของกระถินหมักเพื่อเป็นอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ปริญญาณิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

บัญญัติ โจลานันท์, อาทิตย์ พุทธิรักษาติ และจันสุดา คำด้อย. (2554). พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งไมยราบยักษ์. วารสารวิจัย มข. 16(1): 20-31.

ธนาพล ตันติสัตยกุล, กะชามาศ สายดา, สุจิตรา ภู่งสี และศิวพร เงินเรืองโรจน์. (2558). การศึกษาความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปะรด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 5(23): 754-773.

มนตรี นันทา. (2555). การผลิตและหาลักษณะเฉพาะทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากถ่านแกลบและถ่านเปลือกข้าวโพด. ปริญญาณิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

ลักษมี สุทธิวิไลรัตน์, ประภัสสร ภาคอรธ และขวัญรพี สิทธิศรีอาด. (2545). ศักยภาพทางด้านพลังงานของเปลือกไม้เสม็ด. เอกสารทางวิชาการกลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ.

ศิริวรรณ ศรีสรจันตร. (2549). การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากแกลบและฟางข้าว. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์.

สหรัตน์ วงษ์ศรีระ และสิงห์แก้ว ปือกเท็ง. (2549). การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้เพื่อทดแทนถ่านจากไม้. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ.

- สังเวย เสวกวิหารี. (2555). ศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน และ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2554). การเกิดและโครงสร้างผล. สืบค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2560. สืบค้นจาก [http://webcache.googleusercontent.com /search?q=cache:p-mjamBkShkJ](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:p-mjamBkShkJ)
- สุนันท์ พงษ์สามารถ, สุกัญญา เจษฎานนท์ และนรานิษฐ์ มารคแมน. (2532). การศึกษาความปลอดภัยและความเป็นพิษของการบริโภค สารสกัดคล้ายเพคตินจากเปลือกทุเรียน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Nopporn Sudjaitham. (2003). Briquette made from Coffee Residue. Thesis Master Degree of science, Mahidol University.
- Pongsak Jittabut. (2015). Physical and Thermal Properties of Briquette Fuels from Rice Straw and Sugarcane Leaves by Mixing Molasses. Journal of Energy Procedia. 79: 2–9.
- Richards, S.R. (1990). Physical testing of fuel briquettes. Journal of Biomass and Bioenergy. 25: 89-100.